

**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ**  
**МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ**  
**2022–2023 УЧЕБНЫЙ ГОД**  
**ОТВЕТЫ**

<b>11 КЛАСС</b>	
№ задания	Максимальный балл
1.	10
2.	10
3.	10
4.	10
5.	10
Итого:	50 баллов

**ПОДРОБНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАНИЙ**

**11 класс**

*Общие указания:* за правильное понимание участником олимпиады сути предоставленного вопроса и выбор пути решения выставляется не менее 5–7 баллов. При отсутствии понимания ситуации и логической связанности решения оценка не может превышать 2–3 балла даже при формально правильном ответе. С другой стороны, арифметические ошибки, приводящие к неверному ответу, не должны быть основанием для снижения оценки более чем на 1–2 балла. Жюри вправе вводить собственные критерии оценивания работ, не противоречащие общим рекомендациям по проверке.

**1. Координаты звезды**

*Задание*

В Красноярске (широта  $\varphi = 56,0^\circ$ ) в день весеннего равноденствия верхняя кульминация звезды произошла в истинную полночь (в 0,0 ч истинного солнечного времени) на высоте  $85,3^\circ$ . Определите экваториальные координаты звезды.

*Решение*

Началом звёздных суток считается верхняя кульминация точки весеннего равноденствия, а началом истинных солнечных суток – нижняя кульминация центра солнечного диска. В день весеннего равноденствия Солнце находится на эклиптике в точке весеннего равноденствия, и к моменту его нижней кульминации (в истинную полночь) с момента верхней кульминации этой точки, когда начались звёздные сутки (звёздное время было равно нулю), пройдёт 12 часов. Поэтому в день весеннего равноденствия в 0 часов истинного солнечного времени будет 12 часов звёздного времени с точностью до разницы в продолжительности звёздных и солнечных суток (примерно 4 минуты – в зависимости от момента наступления весеннего равноденствия). Так как данные в условии задачи приведены с точностью до десятых часа (6 минут), можно считать, кульминация звезды произошла в 12,0 часов по звёздному времени.

Звёздное время в любой момент равно прямому восхождению какого-либо светила плюс его часовой угол  $s = \alpha + t$ . Так как часовой угол звезды (отсчитывается от небесного меридиана) в момент верхней кульминации равен 0 ч, то прямое восхождение звезды будет равно  $\alpha = 12,0$  ч.

Определим другую экваториальную координату звезды – склонение из соотношения для высоты светила в верхней кульминации  $h_{\max} = \delta + (90^\circ - \varphi)$ . Отсюда склонение  $\delta = h_{\max} - (90^\circ - \varphi) = 85,3^\circ - (90^\circ - 56,0^\circ) = 51,3^\circ$ . Так как высота звезды блика к зениту, а данные в условии задачи приведены с точностью до десятых градуса (6'), то влиянием рефракции на склонение можно пренебречь.

*Ответ:* прямое восхождение звезды равно  $\alpha = 12,0$  ч., а её склонение  $\delta = 51,3^\circ$ .

*Критерии оценивания*

Вывод (с пояснением) о том, что в день весеннего равноденствия истинное солнечное время и звёздное время отличаются на 12 часов – 4 балла.

Упоминание о точности определения звёздного времени и её связи с точностью данных в условии задачи – 1 балл.

Верное определение прямого восхождения – 1 балл.

Верное определение склонения звезды – 2 балла.

Упоминание об отсутствии существенного влияния рефракции на светила, которые находятся около зенита – 1 балл.

Упоминание о точности определения склонения и её связи с точностью данных в условии задачи – 1 балл.

## 2. Эксцентриситет

*Задание*

Какой должен быть эксцентриситет орбиты астероида или кометы, которые в перигелии могут приближаться к Солнцу в четыре раза ближе, чем в афелии?

*Решение*

Расстояние космического тела от Солнца в афелии  $Q$  и перигелии  $q$  определяются из соотношений  $Q = a \cdot (1 + e)$ ,  $q = a \cdot (1 - e)$ , где  $a$  – большая полуось орбиты тела,  $e$  – ее эксцентриситет.

По условию задачи  $Q = 4q$  или  $Q/q = 4$ . Подставив вышеприведённые соотношения, получим:

$Q/q = (1 + e)/(1 - e) = 4$ . Или  $1 + e = 4 - 4e$  или  $5e = 3$ . Откуда найдём эксцентриситет  $e = 3/5 = 0,6$ .

*Ответ:* эксцентриситет  $e = 0,6$ .

*Критерии оценивания*

Знание соотношений для афелийного и перигелийного расстояний – 4 балла.

Составление уравнения из условия задачи – 4 балла.

Решение уравнения и получение верного ответа – 2 балла.

## 3. «Летящая» звезда Барнарда

*Задание*

Звезда Барнарда, находящаяся от нас на расстоянии 1,828 пк, имеет тангенциальную составляющую собственной скорости  $v_{тан} = 89,3$  км/с. За сколько лет для земного наблюдателя эта звезда сместится на небе на видимый диск Луны?

*Решение*

Сначала найдём собственное движение  $\mu$  – угловое перемещение звезды на небесной сфере за год из соотношения:  $v_{тан} = 4,74 \frac{\mu}{\pi}$ , где  $\pi$  – годичный параллакс звезды, связанный с расстоянием до неё в парсеках  $r = \frac{1}{\pi''}$ . Отсюда  $\mu = \frac{v_{тан}}{4,74 \cdot r} = \frac{89,3 \text{ км/с}}{4,74 \cdot 1,828 \text{ пк}} = 10,3''/\text{год}$ .

Известно, что видимыми размер Луны равен примерно  $0,5^\circ \cdot 3600'' = 1800''$ .

Тогда такое расстояние звезда Барнарда пройдёт за  $1800'' / 10,3''/\text{год} = 175$  лет.

*Примечание:* участники, не зная готовой формулы для определения собственного движения, могут из тангенциальной скорости определить перемещение звезды за год, а затем, используя расстояние до неё, получить величину углового смещения на небесной сфере за год. Такое решение тоже считается верным и оценивается в полном объёме.

*Ответ:* примерно за 175 лет.

*Критерии оценивания*

Знание или вывод соотношения для собственного движения звезды – 4 балла.

Знание зависимости расстояния до звёзд от их годичного параллакса – 2 балла.

Знание углового размера Луны на небе – 2 балла.

Правильное вычисление времени – 2 балла.

## 4. Космический телескоп нового поколения

*Задание*

В конце прошлого 2021 года в космос наконец-то был запущен космический телескоп «Джеймс Уэбб» (англ. JamesWebbSpaceTelescope, JWST) с диаметром главного зеркала, эквивалентным 6,5 метра, и приборами, способными регистрировать электромагнитные волны в диапазоне от 0,6 до 28,5 мкм. Определите теоретическую разрешающую способность этого телескопа.

### Решение

Использовать простую формулу для определения теоретической разрешающей способности для оптических телескопов  $\alpha'' = \frac{140''}{D \text{ мм}}$  в данном случае нельзя, так она предназначена для видимого диапа-

зона электромагнитных волн (средняя длина световой волны  $\lambda = 0,55$  мкм (зелёный цвет)), а телескоп «Джеймс Уэбб» работает в диапазоне от 0,6 до 28,5 мкм, т.е. в видимом красном и среднем инфракрасном диапазонах. Поэтому воспользуемся «универсальной» формулой, определяющей радиус дифракционного диска (кружка Эйри)  $\alpha = 1,22 \cdot \frac{206265'' \cdot \lambda}{D}$ . Тогда для  $\lambda = 0,6$  мкм  $\alpha = 1,22 \cdot \frac{206265'' \cdot 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{6,5 \text{ м}} =$

$$0,023'', \text{ а для } \lambda = 28,5 \text{ мкм } \alpha = 1,22 \cdot \frac{206265'' \cdot 28,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{6,5 \text{ м}} = 1,1''.$$

*Примечание:* полученная разрешающая способность является теоретической, определяемой радиусом кружка Эйри (дифракционным пределом), в действительности же, из-за неидеальности объектива телескопа и регистрирующих приборов, разрешающая способность будет несколько хуже.

*Ответ:* теоретическая разрешающая способность телескопа находится в пределах от 0,023'' до 1,1'' в зависимости от диапазона, в котором ведутся наблюдения.

### Критерии оценивания

Использование формулы, определяющей радиус дифракционного диска – 5 баллов.

Верные вычисления разрешающей способности в зависимости от диапазона – 5 баллов.

*Примечание:* использование участниками в решении формулы для оптических телескопов и получение одного итогового ответа 0,022'' не может быть оценено более чем в 3 балла.

## 5. Изменчивый Марс

### Задание

Во сколько раз изменяется видимый блеск Марса, если считать, что Марс обращается вокруг Солнца по круговой орбите на расстоянии в 1,5 раза превышающем размер орбиты Земли? А на сколько меняется его звёздная величина?

### Решение

Марс – это внешняя планета. Если принять радиус орбиты Земли за 1 астрономическую единицу, то минимальное расстояние между Марсом и Землёй (противостояние) составит 0,5 а.е. В то время как в соединениях Марса с Солнцем такое расстояние составит уже 2,5 а.е. Таким образом, расстояние между планетами может изменяться примерно в 5 раз. Блеск объекта обратно пропорционален квадрату расстояния. То есть видимый блеск изменяется уже в 25 раз!

Для определения изменения звёздной величины  $\Delta m$  воспользуемся формулой Погсона  $\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{\Delta m}$ , где  $\frac{I_1}{I_2}$  – отношения блесков. Логарифмируя её, получим  $\Delta m = 2,5 \lg \frac{I_1}{I_2}$ . Подставив ранее полученную величину изменения блеска, найдём  $\Delta m = 2,5 \lg 25 = 3,5^m$ .

*Примечание:* 8 декабря 2022 года произойдёт очередное противостояние Марса, при этом его звёздная величина достигнет  $-1,87^m$ , а угловой размер составит  $17''$ .

*Ответ:* видимый блеск Марса изменяется примерно в 25 раз, при этом его звёздная величина изменяется на  $3,5^m$ .

### Критерии оценивания

Верное определение величины изменения расстояния между Марсом и Землёй – 2 балла.

Знание, что блеск убывает обратно пропорционально квадрату расстояния и верное вычисление изменения блеска – 3 балла.

Применение формулы Погсона – 3 балла.

Получения верного значения изменения звёздной величины – 2 балла.